

A4

**Method and apparatus for determining quality of welding at weld between working material pieces**

Patent Number: ☐ US6399915  
Publication date: 2002-06-04  
Inventor(s): MORI KIYOKAZU (JP); KOJIMA YASUO  
Applicant(s): NISSAN MOTOR (JP)  
Requested Patent: ☐ DE10013892  
Application: US20000526752 20000316  
Priority Number(s): JP19990077505 19990323  
IPC Classification: B23K26/00  
EC Classification: B23K26/03  
Equivalents: ☐ JP2000271768

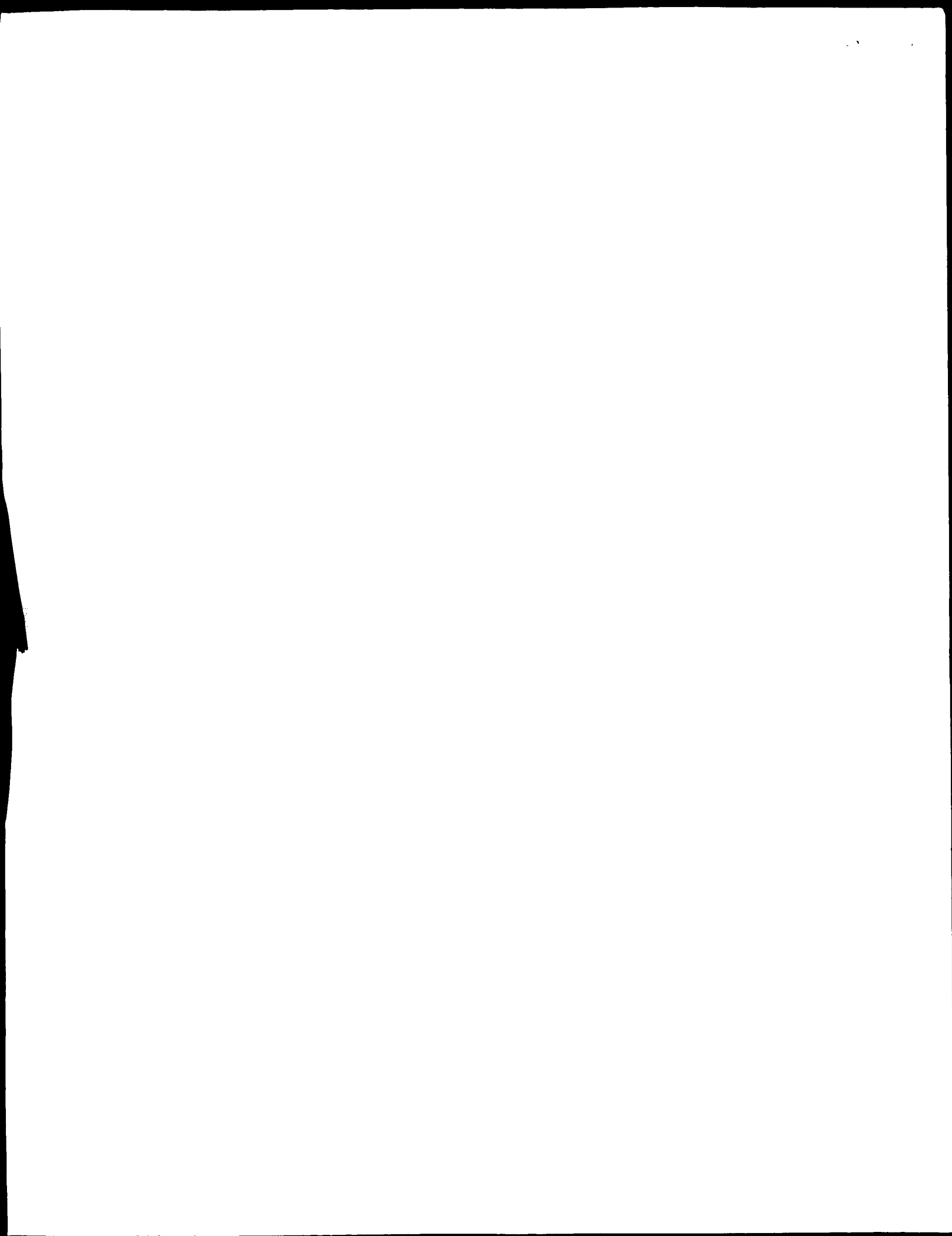
---

**Abstract**

---

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2





DE 100 13 892 A 1

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 13 892 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 23 K 26/03**

⑳ Aktenzeichen: 100 13 892.6  
㉑ Anmeldetag: 21. 3. 2000  
㉒ Offenlegungstag: 28. 12. 2000

③① Unionspriorität:  
11-77505 23. 03. 1999 JP

⑦① Anmelder:  
Nissan Motor Co., Ltd., Yokohama, Kanagawa, JP

⑦③ Vertreter:  
Hoefer, Schmitz, Weber, 81545 München

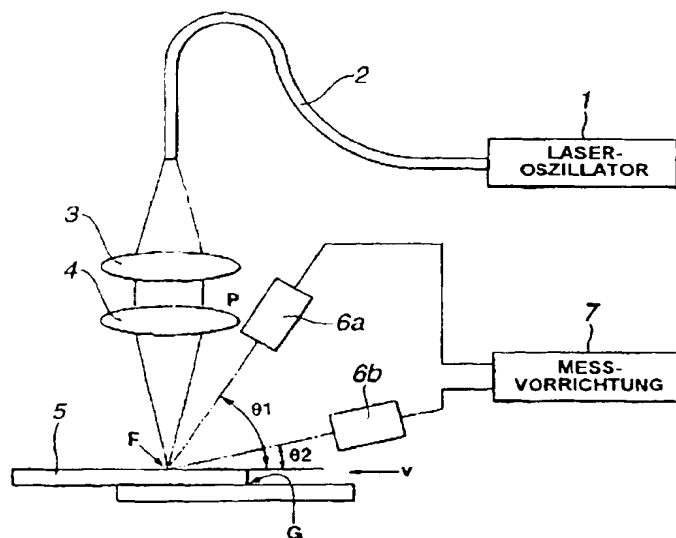
⑦② Erfinder:  
Mori, Kiyokazu, Atsugi, Kanagawa, JP; Kojima,  
Yasuo, Kanagawa, JP

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Schweissqualität an einer Schweissnaht zwischen Werkstücken

⑤⑦ Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) wird eine Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht während eines Laserschweißens mittels einer Laservorrichtung ausgesandt wird, welche einen Laserstrahl (bei dem Ausführungsbeispiel einen YAG-Laserstrahl) mit einer Wellenlänge aussendet, die in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt, erfaßt, ein erstes Erfassungssignal, welches die Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt, ausgegeben, eine Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers von der Schweißnaht während des Laserschweißens erfaßt, ein zweites Erfassungssignal, welches die Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt, ausgegeben, Frequenzen des ersten und des zweiten Erfassungssignals analysiert und eine Bestimmung, ob ein Ergebnis der Laserschweißung in einem vorteilhaften Schweißbereich liegt, und eine Erkennung einer Ursache eines Schweißfehlers der Schweißnaht, wenn die Bestimmung erfolgt, daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche niedriger ist als eine bel ebige Frequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche höher ist als die bel ebige Frequenz, ...



DE 100 13 892 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft generell eine Technik zum Gewährleisten einer Qualität einer YAG-Laserschweißung an Werkstücken mittels eines Lasers, beispielsweise eines YAG-Lasers in einer Montagestraße, wie einer Fahrzeugkarosserie-Montagestraße.

Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren und ein System zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken, welche nicht nur bestimmen, ob die Schweißung ein gutes Ergebnis oder ein schlechtes Ergebnis liefert, sondern ferner Änderungen von Parametern, welche die Schweißqualität stark beeinflussen, erfassen, um eine Ursache des schlechten Ergebnisses (des Scheiterns) der Schweißung zu bestimmen. Die vorliegende Erfindung ist anwendbar auf ein adaptives Steuersystem einer YAG-Laserschweißung, welches mit einer adaptiven Steuerung für das gesamte YAG-Laserschweißsystem arbeitet.

Wichtige Parameter, welche direkt mit einer Schweißqualität einer YAG-Laserschweißung in Zusammenhang stehen, umfassen beispielsweise eine Laserausgangsleistung an einem Arbeitspunkt einer Schweißung, eine Position eines Brennpunkts des Lasers (eine sogenannte Brennweite, welche durch einen Strahldurchmesser bestimmt wird), eine Positioniergenauigkeit der Werkstücke (die Werkstoffe, welche zusammenzuschweißen sind, nachfolgend bezeichnet als Spaltlänge einer Überlappungsnaht), eine Gasströmungsmenge und eine Schweißgeschwindigkeit.

Es ist erwünscht, daß diese Schweißparameter derart gesteuert werden, daß deren Werte innerhalb der vorbestimmten zulässigen Bereiche davon während des Schweißens unter Verwendung des YAG-Lasers liegen. Jedoch ist es während eines aufeinanderfolgenden Schweißens von Werkstücken mit großen Abmessungen, wie etwa von Werkstücken, welche in einer Fahrzeugkarosserie-Montagestraße zu finden sind, nicht möglich, große Streuungen (bzw. große Abweichungen) der Schweißqualität für die jeweiligen Schweißnähte der Werkstücke von einer perfekten Schweißqualität und große Streuungen (bzw. große Abweichungen) von den Schweißparametern auf der Grundlage einer Stoppositionsgenauigkeit jedes Werkstücks, welches mittels einer ein Werkstück tragenden Vorrichtung zu schweißen ist, zu vermeiden. Es kann nicht behauptet werden, daß ein plötzlicher, unerwarteter Schweißfehler nicht auftritt.

Ein Verfahren zur Messung einer physikalischen Größe, wie etwa Licht oder Schall, welche während des Laserschweißens erzeugt wird, um die Schweißqualität zu beurteilen, wurde als Überwachungstechnik der Laserschweißqualität vorgeschlagen.

Beispielsweise beschreibt die japanische veröffentlichte Patentanmeldung Nr. Heisei 10-6051, veröffentlicht am 13. Januar 1998, ein Verfahren zur Messung einer Frequenzverteilung eines Plasmalichts, welches während des Laserschweißens unter Verwendung eines CO<sub>2</sub>-Lasers (Kohlendioxidlasers) ausgesandt wird, um die Schweißqualität an jeder Schweißnaht zu beurteilen.

Hingegen offenbart hinsichtlich des YAG-Lasers ein englischer Fachaufsatz über Entwicklungen einer deutschen Firma mit dem Namen Laserzentrum Hannover e. V. eine "Process Control During Nd:YAG-Laser Beam Welding", veröffentlicht im Juni 1995. In diesem englischen Fachaufsatz wurde ein Überwachungssystem in den Handel gebracht, welches eine Intensität einer Aussendung des Plasmalichts erfaßt und die erfaßte Wellenform mit einer normalen Wellenform vergleicht, welche entsteht, wenn eine gute Schweißqualität erhalten wurde (es sei darauf hingewiesen, daß es aufgrund der Tatsache, daß ein Ionisierungsanteil bei

der YAG-Laserschweißung niedrig ist, selbstverständlich richtig ist, den Ausdruck Wolke anstelle des Ausdrucks Plasma zu verwenden, jedoch wird dafür gewöhnlich der Ausdruck Plasma verwendet.

Jedoch wird bei dem oben beschriebenen, früher vorgeschlagenen Überwachungssystem, welches in dem englischen Fachaufsatz offenbart ist, lediglich die Intensität eines Plasmalichts, welches von der Schweißnaht der Werkstücke erzeugt wird, erfaßt, um die Schweißqualität zu bestimmen, und die Bestimmung, ob das Ergebnis einer Schweißung an der Schweißnaht gut oder schlecht ist, hängt davon ab, ob die erfaßte Plasmawellenform innerhalb eines Bereichs liegt, welcher auf einen konstanten Prozentanteil zu einer Plasmawellenform festgelegt ist, welche erhalten wird, wenn das Ergebnis einer Schweißung an derselben Schweißnaht als gut bestimmt und als Bezugswellenform gespeichert wurde.

Daher ist selbst dann, wenn das gute bzw. schlechte Ergebnis der Schweißqualität bestimmt werden kann, eine Ursache des schlechten Ergebnisses einer Schweißung (Scheiterns der Schweißung) noch nicht bestimmt.

Folglich werden zur Beseitigung des Scheiterns einer Schweißung die Schweißparameter gemäß dem früher vorgeschlagenen Überwachungsverfahren noch nicht automatisch derart gesteuert, daß die Schweißparameter innerhalb der zulässigen Grenzen liegen, und eine Gegenmaßnahme gegen die gescheiterte Schweißung ist noch nicht ergriffen worden.

Um ein derartiges oben beschriebenes Problem zu lösen, existiert bei der YAG-Laserschweißtechnik eine Forderung nach einer Entwicklung der Überwachungstechnik, welche ferner die Ursache des Scheiterns einer Schweißung zusätzlich zu der Bestimmung, ob das Ergebnis einer Schweißung gut oder schlecht ist, bestimmen kann.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken zu schaffen, welche ein gutes bzw. Ergebnis einer Schweißung bestimmen können und die Ursache des Scheiterns, wenn bestimmt wird, daß die Schweißqualität das schlechte Ergebnis liefert, bestimmen kann.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale der Ansprüche 1, 13 bzw. 14 gelöst, die Unteransprüche zeigen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Als Ergebnis einer Untersuchung bezüglich eines Informationssignals von der Schweißnaht während des YAG-Laserschweißens zur Lösung des oben beschriebenen Problems wurde festgestellt, daß dann, wenn zusätzlich zu der Intensität des Plasmalichts (sichtbarer Lichtbereich), welches von einem Hochtemperatur-Metaldampf erzeugt wird, welcher sich an der Schweißnaht entwickelt, die Intensität eines reflektierten Lichts des YAG-Lasers, welches von der Schweißnaht ohne Absorption des ausgestrahlten Lichts auf der Schweißnaht an einem der Werkstücke reflektiert wird, individuell gemessen wurde und Signalpegel beider Komponenten einer Niederfrequenzkomponente (DC-Komponente), welche gleich etwa 100 Hz oder niedriger ist, und einer Hochfrequenzkomponente (AC-Komponente), welche einhergeht mit einer großen zeitlichen Änderung von bis zu etwa 10 kHz, wobei die DC-Komponentenintensität eine Grundfrequenzkomponentenintensität ist, jeweils erfaßt wurden, eine Signalinformation einer Gesamtheit aus vier Arten von Informationssignalen, das heißt, einer DC-Komponente und einer AC-Komponente der Plasmalicht-Emissionsintensität sowie jener der YAG-Laser-Reflexionslichtintensität, ein typisches Verhalten bezüglich Änderungen der Schweißparameter, beispielsweise der Laser-Ausgangsleistung (Ausgangsleistung), der Brennpunktposition (definiert

als Brennweite), einer Spaltlänge der Überlappungsnaht etc., zeigte. Es wurde festgestellt, daß die Schweißqualität an der Schweißnaht indirekt bestimmt werden kann (Elen-  
denzsteuerung) durch ein Überwachen der Änderungen der  
vier Arten einer Signalinformation, und es kann eine genaue  
Schätzung vorgenommen werden, von welcher ein Parameter  
einer Ursache eines Schweißqualitätsfehlers abgeleitet  
werden kann, um die Ursache eines Schweißfehlers zu be-  
seitigen.

Die oben beschriebene Aufgabe kann gelöst werden, in-  
dem ein Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität  
an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken geschaffen  
wird, welches umfaßt: ein Erfassen einer Emissionsintensität  
eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht  
während eines Laserschweißens unter Verwendung einer  
Laservorrichtung ausgesandt wird, die einen Laserstrahl mit  
einer Wellenlänge aussendet, welche in einem Bereich der  
Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt; ein  
Ausgeben eines ersten Erfassungssignals, welches die  
Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt; ein  
Erfassen einer Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers  
von der Schweißnaht während des Laserschweißens; ein  
Ausgeben eines zweiten Erfassungssignals, welches die  
Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt; ein Analysie-  
ren von Frequenzen des ersten und des zweiten Erfassungss-  
signals; und ein Bestimmen, ob ein Ergebnis der Laser-  
schweißung in einem vorteilhaften Bereich einer Schweiß-  
ung liegt, und gleichzeitig ein Bestimmen einer Ursache eines  
Schweißfehlers der Schweißnaht, wenn bestimmt wird,  
daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vor-  
teilhaften Bereichs liegt, wobei diese Bestimmung auf der  
Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenz-  
komponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals,  
welche niedriger ist als eine beliebige Frequenz in einem  
Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenz-  
komponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals,  
welche höher ist als die beliebige Frequenz, erfolgt.

Die oben beschriebene Aufgabe kann ferner gelöst wer-  
den durch ein Schaffen einer Vorrichtung zur Bestimmung  
einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen  
Werkstücken, welche umfaßt: einen ersten Detektor zum Er-  
fassen einer Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts,  
welches von der Schweißnaht während eines Laserschweiß-  
ens unter Verwendung einer Laservorrichtung ausgesandt  
wird, die einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge aussendet,  
welche in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von  
Infrarotstrahlen liegt, und zum Ausgeben eines ersten Erfas-  
sungssignals, welches die Lichtemissionsintensität des  
sichtbaren Lichts anzeigt; einen zweiten Detektor zum Er-  
fassen einer Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers  
von der Schweißnaht während des Laserschweißens und  
zum Ausgeben eines zweiten Erfassungssignals, welches  
die Lichtemissionsintensität des reflektierten Lichts anzeigt;  
und eine Meßvorrichtung zum Analysieren von Frequenzen  
des ersten und des zweiten Erfassungssignals, um zu bestim-  
men, ob ein Ergebnis der Laserschweißung in einem vorteil-  
haften Bereich einer Schweißung liegt, und um eine Ursache  
eines Schweißfehlers der Schweißnaht zu bestimmen, wenn  
bestimmt wird, daß das Ergebnis der Laserschweißung au-  
ßerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, wobei die Bestim-  
mung auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten  
Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfas-  
sungssignals, welche niedriger ist als eine beliebige Fre-  
quenz in einem Bereich von 50 Hz bzw. 200 Hz, und einer  
zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten  
Erfassungssignals, welcher höher ist als die beliebige Fre-  
quenz, erfolgt.

**Fig. 1A** ist eine schematische Ansicht des Aufbaus eines

Beispiels eines YAG-Laserschweißsystems zum Ausführen  
eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens  
zur Überwachung einer Schweißqualität an einer Schweiß-  
naht zwischen Werkstücken (zwei Stahlplattenbleche) ge-  
mäß der vorliegenden Erfindung

**Fig. 1B** ist eine schematische, erläuternde Ansicht eines  
Beispiels einer inneren Struktur jedes in **Fig. 1A** darge-  
stellten Fotosensors.

**Fig. 1C** ist ein Blockschaltbild eines Beispiels einer in  
**Fig. 1A** dargestellten Meßvorrichtung.

**Fig. 2** ist eine Vorderansicht eines YAG-Laserschweiß-  
systems, auf welches das bevorzugte Ausführungsbeispiel  
des Qualitätsüberwachungssystems anwendbar ist, wobei  
die Ansicht zur Erläuterung einer Positionsbeziehung zwi-  
schen einem Kopf eines YAG-Lasers, den Fotosensoren und  
der Schweißnaht, dargestellt in **Fig. 1A** dient.

**Fig. 3A** ist ein Kennliniengraph, welcher DC-Komponen-  
ten einer Intensität einer Emission von Licht eines Plasmas,  
abgeleitet von den jeweiligen Fotosensoren bezüglich einer  
Ausgangsleistung eines YAG-Lasers an einem Arbeitspunkt  
darstellt.

**Fig. 3B** ein Kennliniengraph, welcher AC-Komponenten  
einer Intensität einer Emission von Licht des Plasmas, abge-  
leitet von den jeweiligen Fotosensoren, bezüglich der Ar-  
beitspunkt-Ausgangsleistung des YAG-Lasers darstellt.

**Fig. 3C** ist ein Kennliniengraph, welcher DC-Komponen-  
ten eines reflektierten Lichts des Plasmas bezüglich der  
Ausgangsleistung des YAG-Lasers an dem Arbeitspunkt  
darstellt.

**Fig. 3D** ist ein Kennliniengraph, welcher AC-Komponen-  
ten eines reflektierten Lichts des Plasmas, abgeleitet von den  
jeweiligen Fotosensoren, bezüglich der Ausgangsleistung  
des YAG-Lasers an dem Arbeitspunkt darstellt.

**Fig. 4A** ist ein Kennliniengraph, welcher die DC-Kompo-  
nenten der Intensität der Emission des Plasmalichts bezüg-  
lich einer Position eines Brennpunkts des YAG-Lasers dar-  
stellt.

**Fig. 4B** ist ein Kennliniengraph, welcher die DC-Kompo-  
nenten der Intensität der Emission des Plasmalichts bezüg-  
lich der Position des Brennpunkts (der Brennweite) des  
YAG-Lasers darstellt.

**Fig. 4C** ist ein Kennliniengraph, welcher die AC-Kompo-  
nenten der Intensität des reflektierten Lichts des Plasmas be-  
züglich der Position des Brennpunkts (der Brennweite) des  
YAG-Lasers darstellt.

**Fig. 4D** ist ein Kennliniengraph, welcher die DC-Kompo-  
nenten der Intensität der Emission des Plasmalichts bezüg-  
lich der Position des Brennpunkts (der Brennweite) des  
YAG-Lasers darstellt.

**Fig. 5A** ist ein Kennliniengraph, welcher die DC-Kompo-  
nenten der Intensität der Emission des Plasmalichts bezüg-  
lich einer Spaltlänge einer Überlappungsnaht darstellt.

**Fig. 5B** ist ein Kennliniengraph, welcher die AC-Kompo-  
nenten der Intensität der Emission des Plasmalichts bezüg-  
lich der Spaltlänge der Überlappungsnaht darstellt.

**Fig. 5C** ist ein Kennliniengraph, welcher die DC-Kompo-  
nenten der Intensität des reflektierten Lichts des Plasmas be-  
züglich der Spaltlänge der Überlappungsnaht darstellt.

**Fig. 5D** ist ein Kennliniengraph, welcher die AC-Kompo-  
nenten der Intensität des reflektierten Lichts des Plasmas be-  
züglich der Spaltlänge der Überlappungsnaht darstellt.

**Fig. 6** ist ein zweidimensional aufgezeichneter Kennlini-  
engraph, welcher Änderungen der DC-Komponentensignale  
der reflektierten Lichtintensität von Plasma, welches mittels  
der jeweiligen Fotosensoren erfaßt werden und auf einer  
Änderung der jeweiligen Schweißparameter beruhen, dar-  
stellt.

**Fig. 7A** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel ei-

nes Niederfrequenz-Komponentensignals (DC-Komponente) der Intensität der Plasmalichtemission bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 7B** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel eines Hochfrequenz-Komponentensignals (AC-Komponente) der Intensität der Plasmalichtemission bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 8A** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel des Niederfrequenz-Komponentensignals der Intensität des Plasmareflexionslichts bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 8B** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel des Hochfrequenz-Komponentensignals der Intensität des Plasmareflexionslichts bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 9A** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel einer Frequenzverteilung der Intensität der Plasmalichtemission bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 9B** ist ein Kennliniengraph, welcher ein Beispiel der Frequenzverteilung der Intensität des Plasmareflexionslichts bezüglich der Zeit darstellt.

**Fig. 10** ist ein Kennliniengraph, welcher eine Beziehung zwischen einem Signalpegel (der Signalintensität) und jedem Erfassungswinkel für die Intensitäten der YAG-Laser-Plasmalichtemission und des Plasmareflexionslichts des YAG-Laser darstellt.

Nachfolgend wird auf die Zeichnung Bezug genommen, um ein Verständnis bezüglich der vorliegenden Erfindung zu erleichtern.

**Fig. 1A** zeigt ein Beispiel eines Aufbaus eines YAG-Laserschweißsystems zum Ausführen eines bevorzugten Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Überwachung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken gemäß der vorliegenden Erfindung.

Das in **Fig. 1A** dargestellte Schweißsystem weist einen YAG-Laseroszillator **1** auf.

Ein mittels des Laseroszillators **1** erzeugtes Laserlicht wird mittels einer optischen Faser **2** einem optischen Lichtkondensorsystem zugeführt, mittels einer Kollimationslinse **3** in zueinander parallele Lichtstrahlen umgewandelt und mittels einer Kondensorlinse **4** auf einer Oberfläche von sich teilweise überlappenden Werkstücken **5**, welche zu schweißen sind, kondensiert, um einen Stumpfschweißvorgang auszuführen.

Ferner ist ein erster Fotosensor **6a** an einer ersten Position angeordnet, an welcher ein Elevationswinkel  $\theta_1$  von der Oberfläche der Werkstücke **5**, welche zu schweißen sind,  $60^\circ$  aufweist, und ein zweiter Fotosensor **6b** ist an einer zweiten Position angeordnet, an welcher der Elevationswinkel  $\theta_2$  von derselben Oberfläche  $10^\circ$  aufweist.

Diese Fotosensoren, der erste Fotosensor **6a** und der zweite Fotosensor **6b**, wandeln eine Intensität eines Plasmalichts (sichtbaren Lichts), welches von der Schweißnaht ausgesandt wird, und die Intensität eines reflektierten Lichts des YAG-Lasers ohne eine Absorption in der Schweißnaht der Werkstücke **5** nach einer Bestrahlung mit dem Plasmalicht auf denselben Werkstücken **5** jeweils in elektrische Signale um. Es sei darauf hingewiesen, daß keine der Fotodioden (**8, 9**) eine Spektralempfindlichkeit bezüglich der Laserstrahlen aufweist.

Die umgewandelten elektrischen Signale von den jeweiligen Fotosensoren **6a** und **6b** werden einer Meßvorrichtung **7** mit einem entsprechenden Vorverstärker **7A** (**7B**), einem Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) **7C** und einem Personalcomputer **7D** zugeführt, welcher eine Anzeigevorrichtung **7E** und eine Warnvorrichtung aufweist, wie in **Fig. 1C** dargestellt.

Jeder des ersten und des zweiten Fotosensors **6a** und **6b** weist, wie in **Fig. 1B** dargestellt, auf zwei Fotodioden **8** und **9** (beispielsweise jeweils G1115); einen dichroitischen Spie-

gel **10**; und ein Interferenzfilter, welcher lediglich einen Lichtstrahl mit einer Wellenlänge von  $1064 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$  überträgt.

Bei dem ersten Sensor **6a** und dem zweiten Sensor **6b** wird der Lichtstrahl von der Schweißnaht, welcher ausgehend von einer linken Seite in **Fig. 1B** einfällt, in Übereinstimmung mit einer Wellenlänge mittels des dichroitischen Spiegels **10** ausgewählt. Das heißt, das sichtbare Licht, welches eine Wellenlänge von  $500 \text{ nm}$  oder weniger aufweist, wird mittels des dichroitischen Spiegels **10** reflektiert, und ein Interferenzfilter **11** überträgt Lichtstrahlen lediglich mit einer Wellenlänge von  $1064 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ .

Beispielsweise umfaßt der Vorverstärker **7A** (**7B**), wie in **Fig. 1C** dargestellt, einen ersten Operationsverstärker OP1, dessen Minuseingangsanschluß mit der entsprechenden der Fotodioden **8** (**9**) des jeweiligen Fotosensors **6a** (**6b**) über eine abgeschirmte Leitung verbunden ist und mit einem ersten Kondensator **C1** und einem ersten Widerstand **R1** verbunden ist, und dessen Ausgangsanschluß mit einem zweiten Widerstand **R2** verbunden, und einen zweiten Operationsverstärker OP2, dessen Minuseingangsanschluß mit dem zweiten Widerstand **R2** über einen dritten Widerstand **R3** verbunden ist, und mit einem vierten Widerstand **R4** verbunden ist, dessen Plusingangsanschluß mit einem fünften Widerstand **R5** verbunden ist, und dessen Ausgangsanschluß mit einem sechsten Widerstand **R6** und einem A/D-Wandler **7C** verbunden ist. Der erste Kondensator **C1** und der erste Widerstand **R1** sind mit einem Verbindungsübergang zwischen dem zweiten und dem dritten **R2** und **R3** verbunden.

Die sichtbaren Lichtstrahlen, welche jeweils eine Wellenlänge von  $500 \text{ nm}$  oder weniger aufweisen, werden an dem dichroitischen Spiegel **10** reflektiert und der einen Fotodiode **8** zugeführt. Die sichtbaren Lichtstrahlen werden anschließend in ein elektrisches Signal umgewandelt, und dessen Größe wird (wie unten beschrieben) erfaßt. Hingegen wird ein Infrarotlichtstrahl unter den einfallenden Lichtstrahlen von der Schweißnaht zu dem dichroitischen Spiegel **10** übertragen. Daher wird lediglich das YAG-Laserlicht mit der Wellenlänge von  $1,06 \mu\text{m}$  zu dem Interferenzfilter **11** übertragen und der anderen Fotodiode **9** zugeführt. Das YAG-Reflexionslicht wird in ein elektrisches Signal umgewandelt und der Meßvorrichtung **7** zugeführt.

Es sei darauf hingewiesen, daß bei dem Ausführungsbeispiel vier Vorverstärker **7A** (**7B**) für vier Fotodioden **8** (**9**) mit dem Personalcomputer **7D** über den entsprechenden A/D-Wandler **7C** verbunden sind.

Das Signal, welches eine Plasmaemissionslichtintensität anzeigt, und das Signal, welches die YAG-Reflexionslichtintensität anzeigt, welche mittels des ersten Sensors **6a** und des zweiten Sensors **6b** erfaßt werden, werden in eine Niederfrequenz-Komponente (DC-Komponente) mit  $100 \text{ Hz}$  oder weniger und eine Hochfrequenz-Komponente (AC-Komponente) mit über  $100 \text{ Hz}$  bis zu  $10 \text{ kHz}$  unterteilt, wie in **Fig. 8A, 8B, 9A** und **9B** dargestellt. Dadurch werden jeweils deren Intensitäten erfaßt.

**Fig. 2** zeigt eine genaue Darstellung des Aufbaus des YAG-Laserschweißsystems zum Ausführen des Überwachungsverfahrens des bevorzugten Ausführungsbeispiels gemäß der vorliegenden Erfindung.

In **Fig. 2** bezeichnet ein Bezugszeichen **21** eine Gelenkverbindung eines Roboters, hergestellt von FANUC, Nr. S430, ein Bezugszeichen **22** bezeichnet eine Schwenkvorrichtung für einen Laserkopf mit der Kollimationslinse **3** und der Kondensorlinse **4**, ein Bezugszeichen **20** bezeichnet einen Nachführsensor, und ein Bezugszeichen **23** bezeichnet eine Nachführvorrichtung. Der erste und der zweite Fotosensor **6a** und **6b** sind an dem Laserkopf derart angebracht, daß sie einen Elevationswinkel  $\theta_1$  und  $\theta_2$  bezüglich der

Schweißnaht aufweisen. Die Schwenkvorrichtung **22** und die Nachführvorrichtung **23** mit dem Nachführsensor **20** sind ebenfalls durch das US-Patent Nr. 5 925 268, ausgegeben am 20. Juli 1999 (die Offenbarung dieses Patents ist hierin durch Verweis enthalten), beschrieben.

**Fig. 3A bis 5D** zeigen Beispiele von Ergebnissen einer Erfassung der Signalintensitäten, wenn zwei Stahlplattenbleche **5**, dargestellt in **Fig. 1A**, dicht aneinander angebracht sind und die betreffenden Schweißparameter geändert werden.

Bei den in **Fig. 3A bis 5D** dargestellten Erfassungsergebnissen waren bei den Stahlplattenbleche **5**, welche in enge Berührung miteinander gebracht wurden (eine Spaltlänge  $G$  an einer Überlappungsnaht betrug 0), der Kollimationslinse **4** mit einer Brennweite von 200 mm, welche dazu verwendet wird, den Brennpunkt des YAG-Lasers (die sogenannte Brennweite  $F$ ) auf die Oberfläche auf die Werkstücke **5** einzustellen (eine Brennpunktposition  $F$  betrug 0, so daß der Brennpunkt sich genau an der Schweißnaht befand), der Ausgangsleistung  $P$  an einem Arbeitspunkt von 3 KW und der Schweißgeschwindigkeit  $v$  von 4 m/min befanden sich die beiden Stahlplattenbleche **5**, welche jeweils eine Dicke von 0,8 mm aufwiesen, in Überlappung, wie in **Fig. 1A** dargestellt.

**Fig. 3A bis 5D** zeigt unter diesen Versuchsbedingungen aufgetretene Änderungen jeweiliger Signalkomponenten bei einer jeweiligen Änderung der Ausgangsleistung an dem Arbeitspunkt, der Brennpunktposition und einer Spaltlänge einer Überlappungsnaht, welche Schweißparameter mit einer hohen Änderungswahrscheinlichkeit während des Schweißvorgangs durch das in **Fig. 1A bis 1C** dargestellte YAG-Laserschweißsystem sind. Diese Variablen sind die repräsentativen Schweißparameter.

In Einzelheiten zeigen **Fig. 3A bis 3D** die untere Ausgangsleistung an dem Arbeitspunkt, die DC-Komponente der Plasmalichtemissionsintensität, die AC-Komponente der Plasmalichtemissionsintensität, die DC-Komponente der YAG-Laserreflexionslichtintensität und die AC-Komponente der YAG-Laserreflexionslichtintensität. In **Fig. 3A bis 3D** stellt eine Markierung  $\square$  das Erfassungssignal von dem ersten Sensor **6a** dar, welches den Elevationswinkel von  $60^\circ$  von der Oberfläche der Werkstücke **5** angibt, und eine Markierung  $\circ$  stellt das Erfassungssignal von dem zweiten Sensor **6b** dar, welches den Elevationswinkel von  $10^\circ$  angibt.

Ferner zeigt **Fig. 3A bis 3D** einen Bereich eines Vorsehens einer vollständigen Durchdringung einer Schweißung bis zu einer Rückseite der beiden Stahlplattenbleche **5** an, welcher ein vorteilhafter Schweißbereich ist (gute Schweißqualität) und durch eine gitterartige Unterlegung gekennzeichnet ist.

Wie in **Fig. 3A bis 5D** dargestellt, wurde festgestellt, daß zusammen mit der Änderung der Arbeitspunkt-Ausgangsleistung diese acht Arten der Erfassungssignale jeweils charakteristische Änderungen anzeigen. Aus **Fig. 3D** ist ersichtlich, daß das dann, wenn das Signal in **Fig. 3D**, welches sich ausgehend von dem Kriterium ändert, das heißt, es wurden die AC-Komponenten der YAG-Laserreflexionslichtintensität verwendet, die Änderung der Ausgangsleistung an dem Arbeitspunkt genau erfaßt werden konnte.

**Fig. 4A bis 4D** zeigen Änderungen der jeweiligen Erfassungssignale zusammen mit Änderungen jeweiliger Brennpunktpositionen. Wie in **Fig. 4A bis 4D** dargestellt, zeigt, obwohl die DC-Komponente der Plasmalichtemissionsleistung, die AC-Komponente, die AC-Komponente der Plasmalichtemissionsleistung und die DC-Komponente der YAG-Reflexionslichtemissionsleistung in **Fig. 4A bis 4C** jeweils eine Änderungskennlinie anzeigen, bei welcher die Nullbrennpunktposition ein lokales Minimum ist, die AC-

Komponente des Erfassungssignals der in **Fig. 4D** angezeigten YAG-Reflexionslichtintensität eine Änderungskennlinie an, bei welcher die Nullbrennpunktposition ein lokales Maximum ist. Daher wird es möglich, eine Änderung der Brennpunktposition durch ein Kombinieren dieser beiden Kennlinien zu erfassen.

Es sei darauf hingewiesen, daß positive Zahlenwerte bezüglich der Brennpunktposition bedeuten, daß die Brennpunktposition des YAG-Lasers sich auf einer oberen Seite bezüglich der Position der Werkstücke (zwei Stahlplattenbleche **5**), dargestellt in **Fig. 1A**, befinden, und negative Zahlenwerte davon bedeuten, daß sich die Brennpunktposition des YAG-Lasers unterhalb der Oberfläche der Werkstücke **5** befindet.

Ferner zeigen **Fig. 5A bis 5D** Änderungen der jeweiligen Erfassungssignale zusammen mit den Änderungen der Spaltlänge der Überlappungsnaht der Werkstücke **5**.

Davon änderte sich, wie in **Fig. 5A bis 5D** dargestellt, die AC-Komponente des Erfassungssignals von der Plasmalichtemissionsleistung, dargestellt in **Fig. 5B**, am stärksten. Die Änderung der Spaltlänge der Überlappungsnaht kann durch ein Erfassen einer derartigen Signalpegeländerung, wie oben beschrieben, genau erfaßt werden.

**Fig. 6** zeigt ein Steuerdiagramm, welches zweidimensionale aufeinanderfolgend aufgezeichnete Graphen der jeweiligen Schweißparameter der Ausgangsleistungen an den jeweiligen Arbeitspunkten  $P$ , der Brennweite  $F$  und der Spaltlänge  $G$  der Überlappungsnaht, abgeleitet von den in **Fig. 3C, 4C** und **5C** dargestellten Daten, darstellt, wobei eine Abszisse davon die Signalintensität (einen sogenannten Signalpegel) der DC-Komponente der YAG-Laserreflexionslichtintensität von dem ersten Sensor **6a** (der Elevationswinkel beträgt  $60^\circ$ ) anzeigt und eine Ordinate davon die Signalintensität der DC-Komponente der YAG-Laserreflexionslichtintensität von dem zweiten Sensor **6b** (der Elevationswinkel beträgt  $10^\circ$ ) anzeigt. In **Fig. 6** bezeichnet eine Markierung  $\circ$  die Ausgangsleistung an dem Arbeitspunkt  $P$ , eine Markierung  $\square$  bezeichnet die Brennweite  $F$ , eine Markierung  $t$  bezeichnet die Spaltlänge der Überlappungsnaht  $G$ , und die Markierungen  $\bullet$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacksquare$  bezeichnen aufgezeichnete Punkte, welche innerhalb der vorteilhaften Bereiche der jeweiligen Parameter liegen.

Genauer befinden sich, wie in **Fig. 6** dargestellt, die vorteilhaften Schweißbereiche gemäß den jeweiligen Schweißparametern generell an einer Mittenposition von **Fig. 6**.

Ein Ändern der jeweiligen Parameter in den mit **A, B** und **C** in **Fig. 6** markierten Pfeilrichtungen führt zu dem schlechten Erfassungsergebnis. Außerdem weist jeder Parameter eine verschiedene Richtung auf. Daher wird es, wenn die Bewegungsrichtung erfaßt wird, möglich, anhand der Bewegungsrichtung zu bestimmen, welcher Schweißparameter die Ursache für einen Schweißfehler ist.

Beispielsweise tritt, wenn der aufgezeichnete Wert in der in **Fig. 6** markierten Pfeilrichtung **A** bewegt wird, die Fehlerursache infolge der Änderung der Ausgangsleistung an dem Arbeitspunkt  $P$  auf, die Fehlerursache tritt, wenn der aufgezeichnete Wert in der in **Fig. 6** markierten Pfeilrichtung **B** bewegt wird, infolge der Änderung der Brennweite  $F$  auf, und die Fehlerursache tritt, wenn der aufgezeichnete Wert in der in **Fig. 6** markierten Pfeilrichtung **C** bewegt wird, infolge einer Abnormalität der Spaltlänge  $G$  der beiden Stahlplattenbleche auf.

Daher wird es, wenn ein Steuerbereich, in welchem die vorteilhafte Schweißqualität erhalten wird, an die Mittenposition von **Fig. 6** gesetzt wird, möglich, eine Warnung auszugeben, um einen Bediener über den Fehler beim Schweißen an dem Arbeitspunkt unter Verwendung einer Warneinheit der Erfassungsergebnisse zu informieren, während der

Schweißvorgang anzeigt, daß dieser sich außerhalb des Steuerbereichs befindet, und einen der zu prüfenden Schweißparameter durch einen in Fig. 6 dargestellten Anzeigeschirm des Personalcomputers in Fig. 1C anzuzeigen, wobei gemäß der Richtung davon der aufgezeichnete Wert des Schweißparameters bewegt wird. Ferner kann, wenn die Erfassungsergebnisse anzeigen, daß sich dieser außerhalb des Steuerbereichs befindet, ein voll automatisches System zum automatischen Korrigieren des entsprechenden Parameter erhalten werden.

Obwohl bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel die repräsentativen Schweißparameter die Laserausgangsleistung des Arbeitspunkts P, die Brennweite F und die Spaltenlänge der Überlappungsnaht G umfassen, können weitere Schweißparameter, wie die Schweißgeschwindigkeit v und die Gasströmungsmenge aufgezeichnet werden, um deren entsprechende Daten abzuleiten, und es kann die gleiche Steuerung der Schweißqualität erhalten werden.

Außerdem können bei dem in Fig. 6 dargestellten Steuerdiagramm die Längs- und die Querachse aus den acht Arten von Erfassungssignalen beliebig ausgewählt werden ( $2^3 \cdot 2 = 28$  Kombinationen). Aus diesen 28 Kombinationen kann eine optimale Kombination zum Überwachen und Steuern einer Schweißqualität ausgewählt werden.

Fig. 7A und 8A zeigen Beispiele des Erfassungssignals, welches die Plasmalichtemissionsintensität, erzeugt von dem Arbeitspunkt (der Oberfläche der zu schweißenden Werkstücke 5), während eines Punktschweißens unter Verwendung des in Fig. 1A dargestellten YAG-Lasers darstellt, und des Erfassungssignals, welches die Plasmareflexionslichtintensität ohne Absorption in den Werkstücken 5 darstellt.

In Fig. 7A und 8A sind  $I_{dp}$  und  $I_{dr}$  definiert als DC-Komponenten, welche Mittelwerte der Erfassungssignale über eine Zeitdauer, beispielsweise etwa 1000 Millisekunden sind.

Fig. 7B bzw. 8B zeigen Beispiele von Hochfrequenz-Komponenten des Erfassungssignals, welches die in Fig. 7A dargestellte Plasmalichtemissionsintensität darstellt, bzw. des Erfassungssignals, welches die in Fig. 8A dargestellte YAG-Reflexionslichtintensität darstellt.

In Fig. 7B bzw. 8B entspricht eine Größe der Hochfrequenz-Komponenten einer Änderungsbreite  $I_{ap}$  bzw.  $I_{ar}$ . Beispielsweise ist ein Quadratmittelwert einer Subtraktion eines Mittelwerts (DC-Komponente) von jedem Spitzenwert definiert als AC-Komponente.

Bei dem Überwachungsverfahren für die Schweißnaht, welches die oben beschriebenen YAG-Laser verwendet, wird die Schweißqualität auf der Grundlage der vier Arten von Signalinformationen, das heißt, der DC-Komponente  $I_{dp}$  der Plasmalichtemissionsintensität, der DC-Komponente  $I_{dr}$  der Plasmareflexionslichtintensität, der AC-Komponente  $I_{ap}$  der Plasmalichtemissionsintensität und der AC-Komponente  $I_{ar}$  der Plasmareflexionslichtintensität, bestimmt.

Da diese vier Arten von Signalinformationen Änderungsverhalten aufweisen, welche jeweils den Änderungen der jeweiligen Schweißparameter eigen sind, können ein oder mehr der Parameter, welche eine Ursache für einen Schweißfehler liefern, gleichzeitig bestimmt werden, wenn die Schweißqualität an der Schweißnaht bestimmt wird.

Obwohl die Frequenz zum Unterteilen der Signalkomponenten in zwei Signalkomponenten, das heißt, die Niederfrequenz-Komponente (die DC-Komponente) und die Hochfrequenz-Komponente (die AC-Komponente), aus einem Frequenzbereich von 50 Hz bis 200 Hz beliebig ausgewählt werden kann, kann eine obere Grenzfrequenz als Hochfrequenz-Komponente auf 10 KHz festgelegt werden, daß die Frequenzkomponenten, welche 10 KHz überschrei-

ten, in äußerst geringer Anzahl auftreten, so daß es beinahe keinen Sinn macht, wenn die Frequenzkomponenten, welche 10 KHz überschreiten, erfaßt werden, wie aus den jeweiligen Frequenzverteilungen der Plasmalichtemissionsintensität und der YAG-Laserreflexionslichtintensität, dargestellt in Fig. 9A und 9B, ersichtlich.

Fig. 10 zeigt Kennliniendiagramme, welche eine Beziehung zwischen dem Elevationswinkel des ersten und des zweiten Sensors von der Oberfläche der Schweißnaht der Werkstücke 5 und den Signalintensitäten der Erfassungssignale der Plasmalichtemissionsintensität und der Plasmareflexionslichtintensität darstellen.

Wird der oben beschriebene Elevationswinkel größer, so steigt die Erfassungsgröße an, indem die Plasmalichtemissionsintensität und die YAG-Laserreflexionslichtintensität von einem Inneren eines Schlüssellochs, in welchem die Schweißnaht vorhanden ist, addiert werden. Das Schlüsselloch ist definiert als Loch, welches durch ein Bestrahlen der Oberfläche der zu schweißenden Überlappungsnaht mit dem YAG-Laserlicht ausgebildet ist. Wenn das Laserlicht in dem Inneren des Schlüssellochs absorbiert wird, so wird Metaldampf von der Schweißnaht erzeugt und Lichtstrahlen ausgesandt, wobei eine Verformung davon erfolgt. Anschließend wird, wenn der Elevationswinkel  $15^\circ$  überschreitet, eine Anstiegstendenz der Signalgröße stark, jedoch beginnt der Anstieg der Signalgröße (Signalintensität), in der Nähe von etwa  $50^\circ$  in die Sättigung zu gelangen.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Einheit jeder in Fig. 7A, 8A und 10 dargestellten Signalintensität a. u., das heißt, Angstrom ist, und die AC-Komponenten  $I_{dp}$  und  $I_{dr}$ , dargestellt in Fig. 7A und 8A, werden mittels eines Frequenzanalysators (FFT-Analysator bei einer Berechnung einer Fourier-Transformierten und ein inverser FFT-Analysator bei einer Berechnung einer inversen Fourier-Transformierten) und einer mathematischen Verarbeitungssoftware ("Mathematica" genannt) abgeleitet, welche beide in dem Personalcomputer installiert sind. Obwohl der FFT-Analysator und der inverse FFT-Analysator selbst bekannt sind, sind diese Frequenzanalysatoren in dem US-Patent Nr. 6 018 689, ausgegeben am 25. Januar 2000 (dessen Offenbarung ist hierin durch Verweis enthalten), beschrieben.

Daher wird aufgrund der Tatsache, daß die Erfassung der Intensität sichtbaren Lichts (Plasmalichtemissionsintensität) und der YAG-Laserreflexionslichtintensität an der Position erfolgt, an welcher der Winkelwert des Elevationswinkels von der Oberfläche der Schweißnaht gleich oder größer  $50^\circ$  ist, die erhaltene Signalintensität groß, so daß Signale erhalten werden können, welche jeweils ein hohes Signal/Rausch-Verhältnis (S/N-Verhältnis) aufweisen.

Da die Erfassung der Plasmalichtemissionsintensität und der Plasmareflexionslichtintensität an einer ersten Position erfolgt, an welcher der Elevationswinkel der Schweißnaht der Werkstücke gleich oder größer  $50^\circ$  ist, und an einer zweiten Position, an welcher der Elevationswinkel davon gleich oder größer  $15^\circ$  ist, erfolgt, wird die Signalinformation der gesamten Schweißnaht einschließlich des Inneren des Schlüssellochs von dem an der ersten Position angeordneten Sensor erhalten, und die Signalinformation an der Schweißoberfläche ausschließlich des Inneren des Schlüssellochs wird von dem an der zweiten Position angeordneten Sensor erhalten. Wenn eines der beiden Signale von dem anderen der beiden Signale subtrahiert wird, so zeigt das Ergebnis einer Signalsubtraktion das Informationssignal vom Inneren des Schlüssellochs an. Daher liefert die Informationsmenge acht Informationsarten, was das Doppelte wie bei dem Fall ist, in welchem jeder der Sensoren an der Position angeordnet ist, die den Elevationswinkel von  $50^\circ$  oder mehr liefert. Daher können die Bestimmungsgenauigkeit einer



Bestimmung der Schweißqualität an der Schweißnaht der Werkstücke und die Erkennungsgenauigkeit einer Erkennung eines der Schweißparameter, welcher die Ursache für einen Schweißfehler liefert, weiter erhöht werden.

Es sei darauf hingewiesen, daß, obwohl bei dem Ausführungsbeispiel der YAG-Laser verwendet wird, eine Halbleiter-Laserdiode mit einer Wellenlänge einer Wellenlänge nahe des YAG-Lasers verwendet werden kann.

Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken, bei welchen eine Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht während eines Laserschweißens mittels einer Laservorrichtung ausgesandt wird, welche einen Laserstrahl (bei dem Ausführungsbeispiel einen YAG-Laserstrahl) mit einer Wellenlänge aussendet, die in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt, erfaßt wird, ein erstes Erfassungssignal, welches die Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt, ausgegeben wird, eine Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers von der Schweißnaht während des Laserschweißens erfaßt wird, ein zweites Erfassungssignal, welches die Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt, ausgegeben wird, Frequenzen des ersten und des zweiten Erfassungssignals analysiert werden und eine Bestimmung, ob ein Ergebnis der Laserschweißung in einem vorteilhaften Schweißbereich liegt, und eine Erkennung einer Ursache eines Schweißfehlers der Schweißnaht, wenn bestimmt wird, daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche niedriger ist, als eine beliebige Frequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche höher ist als die beliebige Frequenz, durchgeführt werden.

Der gesamte Inhalt der japanischen Patentanmeldung Nr. Heisei 11-077505 (eingereicht in Japan am 23. März 1999) ist hierin durch Verweis enthalten. Obwohl die Erfindung oben unter Bezugnahme auf bestimmte Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben wurde, ist die Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Abwandlungen und Änderungen der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele werden Fachleuten auf diesem Gebiet im Lichte der obigen Offenbarung in den Sinn kommen. Der Umfang der Erfindung ist unter Bezugnahme auf die folgenden Ansprüche definiert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5), umfassend:
  - ein Erfassen einer Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht während eines Laserschweißens mittels einer Laservorrichtung ausgesandt wird, welche einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge aussendet, die in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt;
  - ein Ausgeben eines ersten Erfassungssignals, welches die Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt;
  - ein Erfassen einer Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers von der Schweißnaht während des Laserschweißens;
  - ein Ausgeben eines zweiten Erfassungssignals, welches die Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt;
  - ein Analysieren von Frequenzen des ersten und des

zweiten Erfassungssignals;

ein Bestimmen, ob ein Ergebnis einer Laserschweißung in einem vorteilhaften Schweißbereich liegt, und ein gleichzeitiges Bestimmen einer Ursache eines Schweißfehlers der Schweißnaht, wenn bestimmt wird, daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, wobei diese Bestimmung auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche niedriger ist als eine beliebige Frequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche höher ist als die beliebige Frequenz, erfolgt.

2. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 1, wobei die Erfassung der Intensitäten des sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht ausgesandt wird, und des Laserreflexionslichts gleichzeitig an einer Position mit einem Elevationswinkel davon bezüglich einer Oberfläche der Schweißnaht der Werkstücke (5), welche der Position zugewandt sind, erfolgt, welcher gleich bzw. größer 50° ist.

3. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 1, wobei die Erfassung der Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts und die Erfassung der Intensität des Laserreflexionslichts sowohl an einer ersten Position mit einem Elevationswinkel davon bezüglich einer Oberfläche der Schweißnaht der Werkstücke (5), welche der ersten Position zugewandt sind, welcher gleich bzw. größer 50° ist, als auch an einer zweiten Position mit dem Elevationswinkel davon bezüglich der Oberfläche der Schweißnaht der Werkstücke (5), welche der zweiten Position zugewandt sind, welcher gleich bzw. kleiner 15° ist, durchgeführt werden.

4. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 3, wobei die Erfassung der Emissionsintensität des sichtbaren reflektierten Lichts an der ersten Position mit dem Elevationswinkel davon bezüglich der Oberfläche der Schweißnaht, welcher etwa 60° beträgt, und an der zweiten Position mit dem Elevationswinkel davon bezüglich der Oberfläche der Schweißnaht, welcher etwa 10° beträgt, durchgeführt werden.

5. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 4, wobei die erste Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals eine DC-Komponente ist, welche durch eine Mittelung jedes Spitzenwerts des entsprechenden des ersten und des zweiten Erfassungssignals abgeleitet wird, und die zweite Frequenzkomponente eine AC-Komponente ist, welche durch ein Subtrahieren des Mittelwerts von jedem Spitzenwert und ein Ermitteln eines quadratischen Mittelwerts eines Ergebnisses der Subtraktion abgeleitet wird.

6. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 5, wobei die Werkstücke zwei Metallplattenbleche sind und die Schweißnaht an einer Überlappungsnaht der Platten angeordnet ist.

7. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 6, wobei die Bestimmung, ob das Ergebnis einer Laserschweißung in den vorteilhaften Bereich fällt, und die Erkennung der Ursache eines Schweiß-

fehlers durchgeführt werden durch ein Erstellen eines derartigen Steuerdiagramms, daß Änderungen der DC-Komponenten des ersten und des zweiten Erfassungssignals bezüglich Änderungen einer Vielzahl von Schweißparametern in dem Steuerdiagramm aufgezeichnet werden, und durch ein Bestimmen, ob die DC-Komponenten des ersten und des zweiten Erfassungssignals bezüglich Änderungen der Schweißparameter, welche jetzt für die Schweißnaht der Werkstücke abgeleitet werden, in dem vorteilhaften Bereich liegen, in welchem Teile der DC-Komponenten aufgezeichnet wurden, die jeweils ein gutes Schweißergebnis anzeigen.

8. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 7, wobei die beiden Metallplattenbleche intermittierend zu einem Arbeitspunkt der Laservorrichtung geführt werden und die Bestimmung, ob das Ergebnis der Laserschweißung in dem vorteilhaften Bereich liegt, und die Erkennung der Ursache eines Schweißfehlers ferner durchgeführt werden durch ein Bestimmen der Ursache des Schweißfehlers, wenn die abgeleiteten DC-Komponentenwerte außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegen, anhand einer beliebigen der Kennlinien, welche entlang den aufgezeichneten Werten der Änderungen der DC-Komponenten bezüglich der entsprechenden der Änderungen der Schweißparameter gezogen sind.

9. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 8, wobei die Schweißparameter umfassen: eine Ausgangsleistung der Laservorrichtung an einem Arbeitspunkt P; eine Brennweite F; und eine Spaltenlänge G der Überlappungsnaht.

10. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 8, wobei die DC-Komponenten des ersten und des zweiten Erfassungssignals in dem Steuerdiagramm mit den Intensitäten des an der ersten und der zweiten Position erfaßten Laserreflexionslichts in Zusammenhang gebracht sind.

11. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 8, ferner umfassend ein Erzeugen einer Warnung, wenn die Ursache eines Schweißfehlers erkannt ist.

12. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5) nach Anspruch 1, wobei der Laser ein YAG-Laser ist.

13. Verfahren zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5), umfassend:

einen ersten Detektor zum Erfassen einer Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht während eines Laserschweißens mittels einer Laservorrichtung ausgesandt wird, welche einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge aussendet, die in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt, und zum Ausgeben eines ersten Erfassungssignals, welches die Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt;

einen zweiten Detektor zum Erfassen einer Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers von der Schweißnaht während des Laserschweißens und zum Ausgeben eines zweiten Erfassungssignals, welches die Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt; und eine Meßvorrichtung (7) zum Analysieren von Frequenzen des ersten und des zweiten Erfassungssignals,

um zu bestimmen, ob ein Ergebnis der Laserschweißung in einem vorteilhaften Schweißbereich liegt, und um eine Ursache eines Schweißfehlers der Schweißnaht zu erkennen, wenn bestimmt wird, daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche niedriger ist als eine beliebige Frequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche höher ist als die beliebige Frequenz.

14. Vorrichtung zur Bestimmung einer Schweißqualität an einer Schweißnaht zwischen Werkstücken (5), umfassend:

eine erste Erfassungseinrichtung zur Erfassung einer Emissionsintensität eines sichtbaren Lichts, welches von der Schweißnaht während eines Laserschweißens mittels einer Laservorrichtung ausgesandt wird, welche einen Laserstrahl mit einer Wellenlänge aussendet, die in einem Bereich der Wellenlängen in der Nähe von Infrarotstrahlen liegt und zur Ausgabe eines ersten Erfassungssignals, welches die Lichtemissionsintensität des sichtbaren Lichts anzeigt;

eine zweite Erfassungseinrichtung zur Erfassung einer Intensität eines reflektierten Lichts des Lasers von der Schweißnaht während des Laserschweißens und zur Ausgabe eines zweiten Erfassungssignals, welches die Lichtintensität des reflektierten Lichts anzeigt; und

eine Meßeinrichtung (7) zum Analysieren von Frequenzen des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche bestimmt, ob ein Ergebnis der Laserschweißung in einem vorteilhaften Schweißbereich liegt, und eine Ursache eines Schweißfehlers der Schweißnaht erkennt, wenn bestimmt wird, daß das Ergebnis der Laserschweißung außerhalb des vorteilhaften Bereichs liegt, wobei die Erkennung auf der Grundlage von Signalintensitäten einer ersten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche niedriger ist als eine beliebige Frequenz in einem Bereich von 50 Hz bis 200 Hz, und einer zweiten Frequenzkomponente des ersten und des zweiten Erfassungssignals, welche höher ist als die beliebige Frequenz, erfolgt.

---

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG.1A

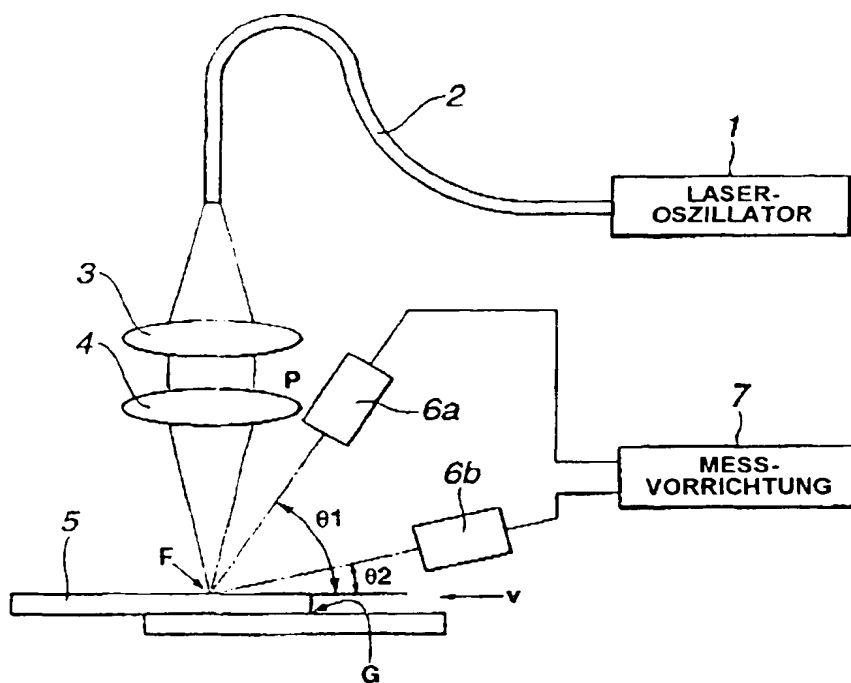


FIG.1B

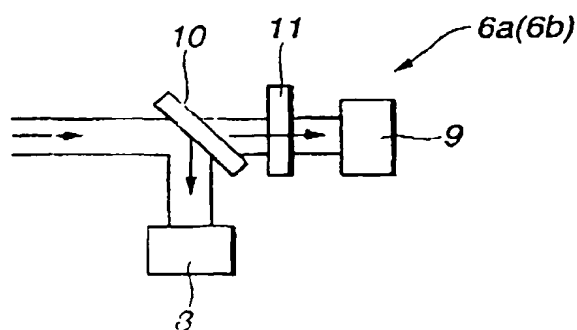
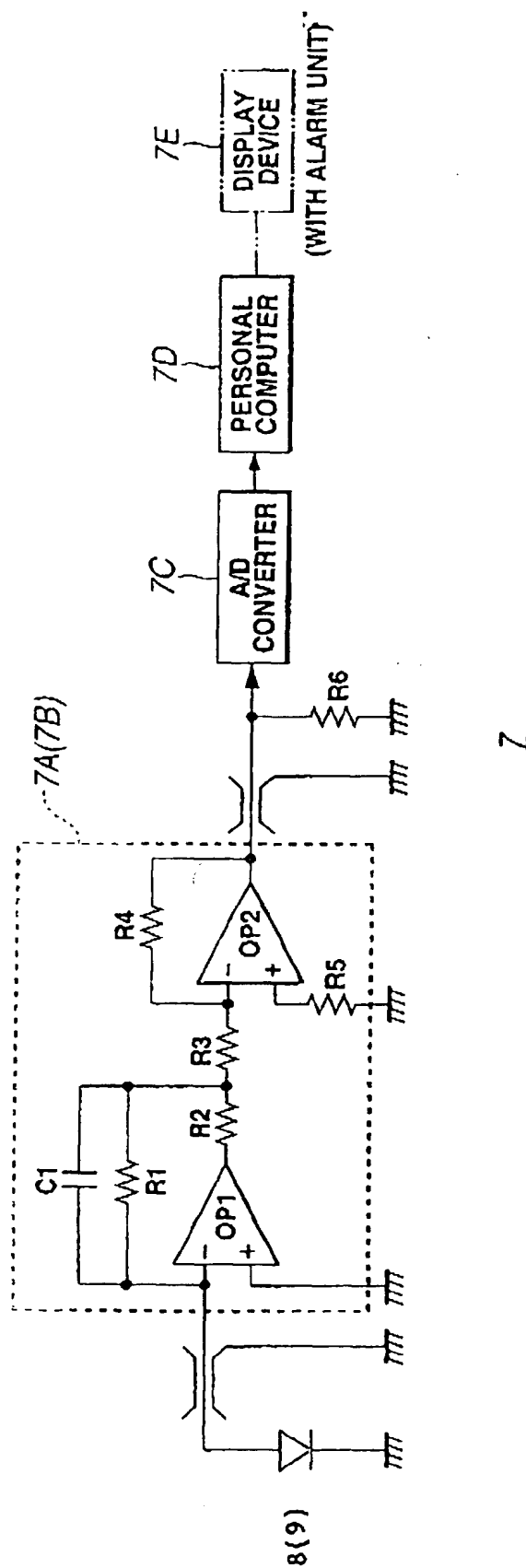
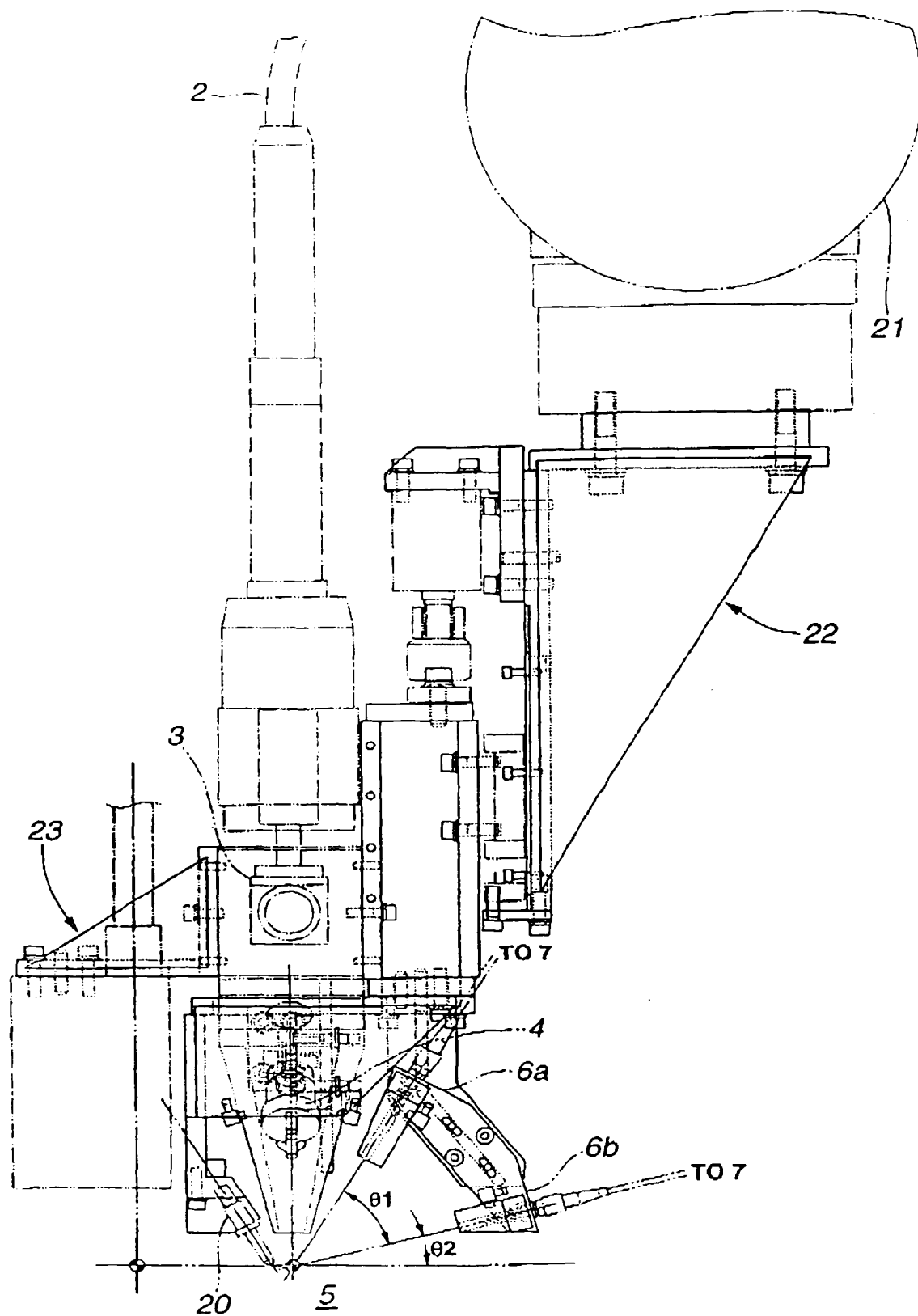


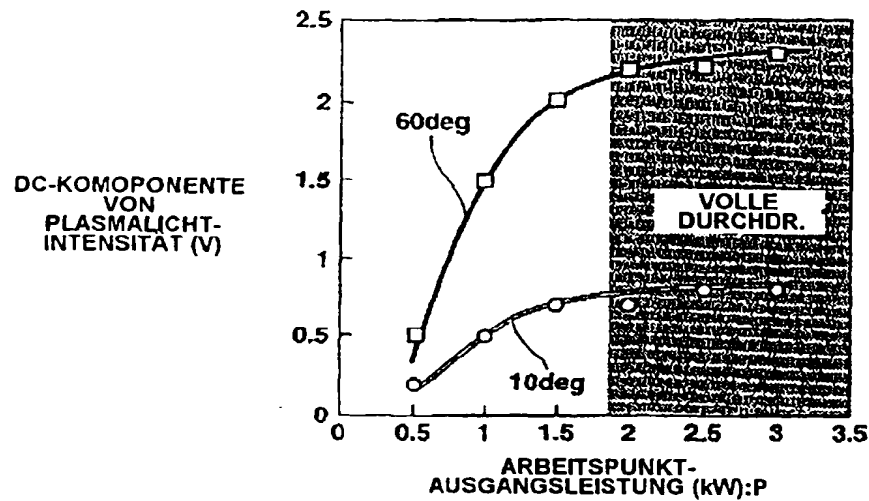
FIG.1C



**FIG.2**



**FIG.3A**



**FIG.3B**

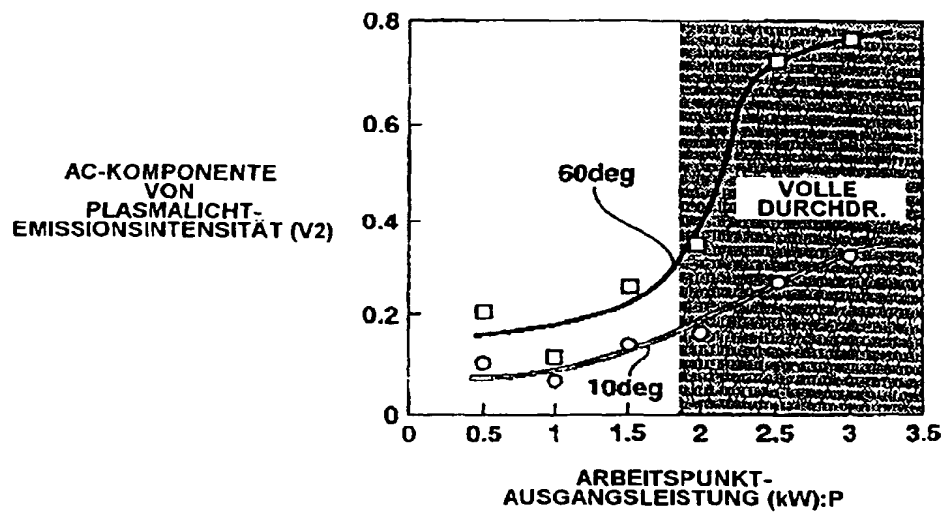


FIG.3C

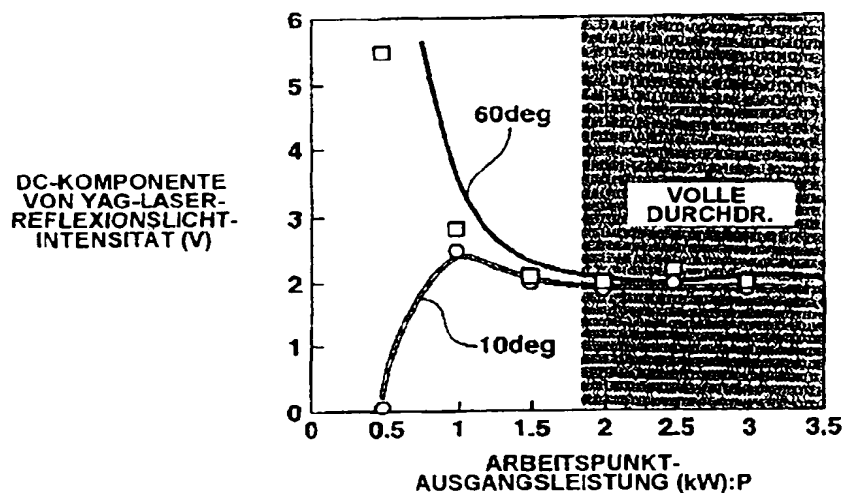


FIG.3D

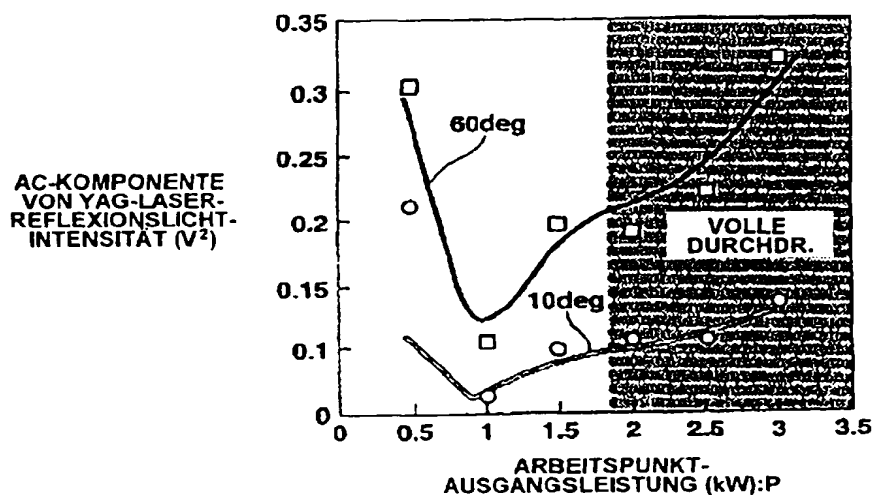


FIG.4A

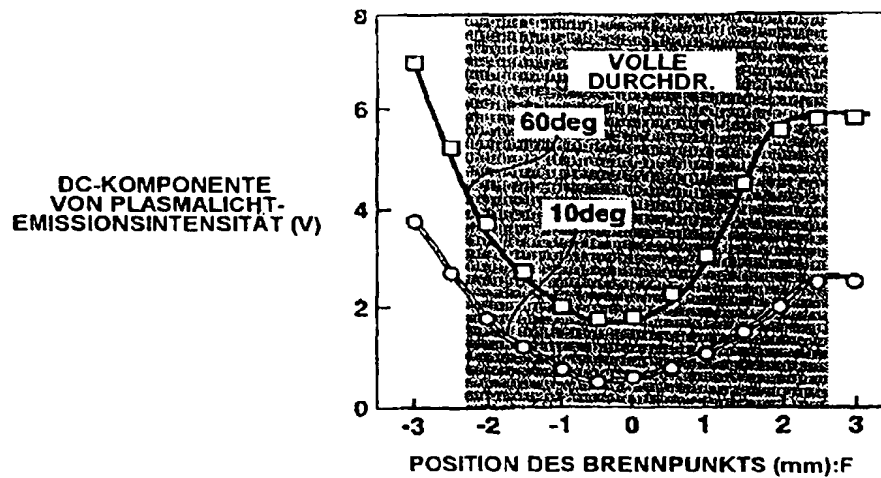


FIG.4B

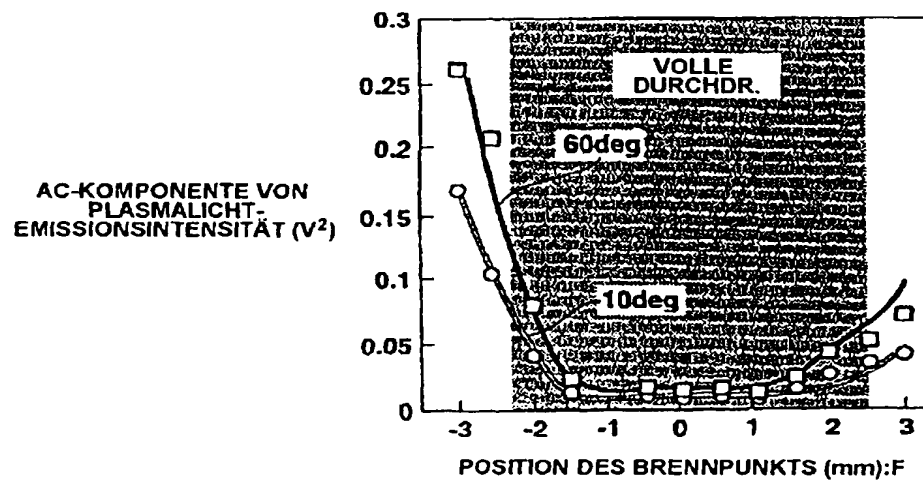




FIG.4C

DC-KOMPONENTE VON  
YAG-LASER-REFLEXIONS-  
LICHTINTENSITÄT (V)

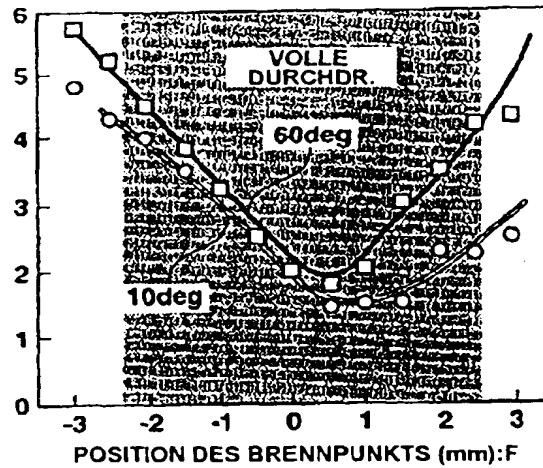


FIG.4D

AC-KOMPONENTE VON  
YAG-LASER-REFLEXIONS-  
LICHTINTENSITÄT (V<sup>2</sup>)

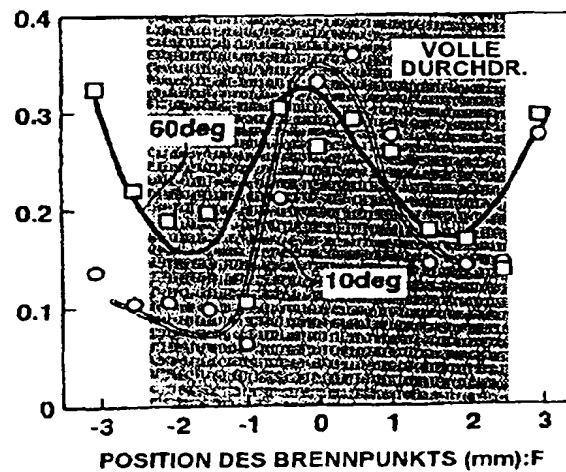


FIG.5A

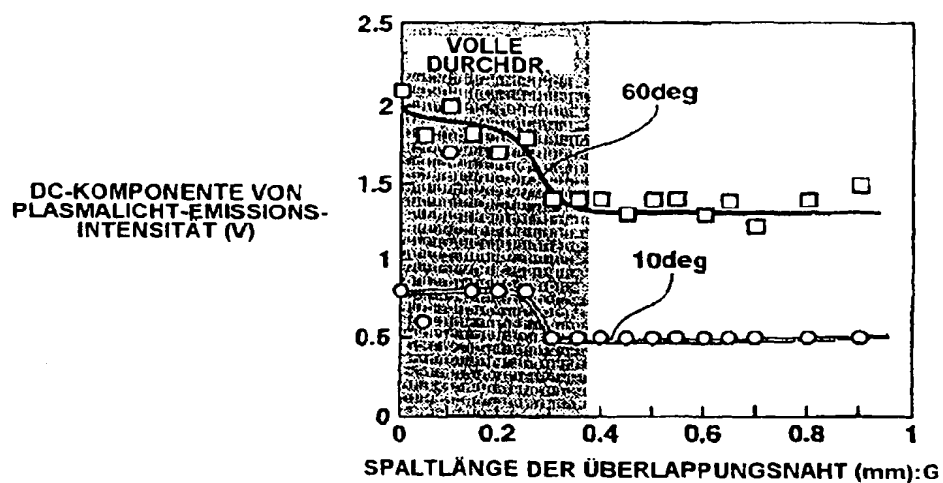


FIG.5B

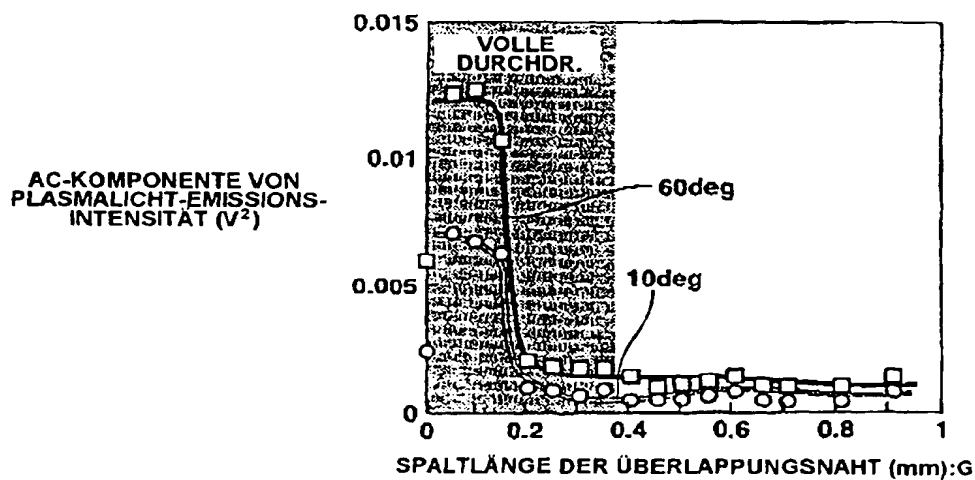


FIG.5C

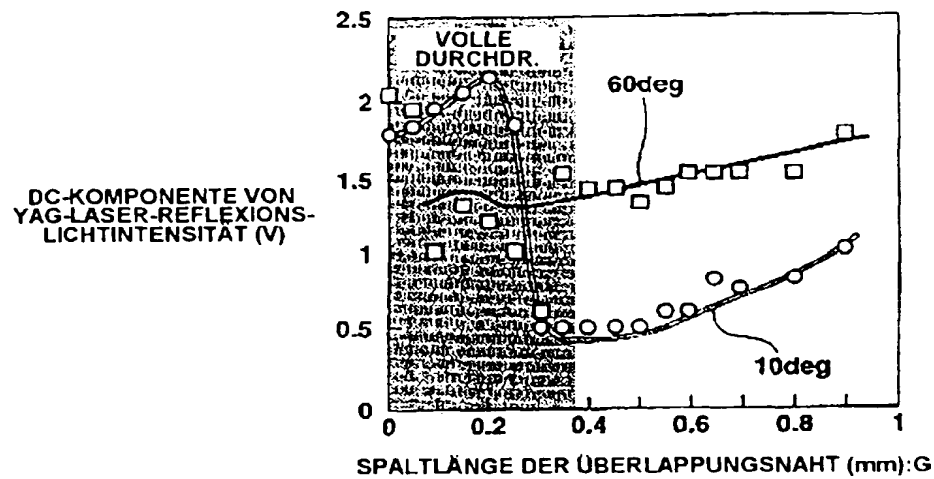


FIG.5D

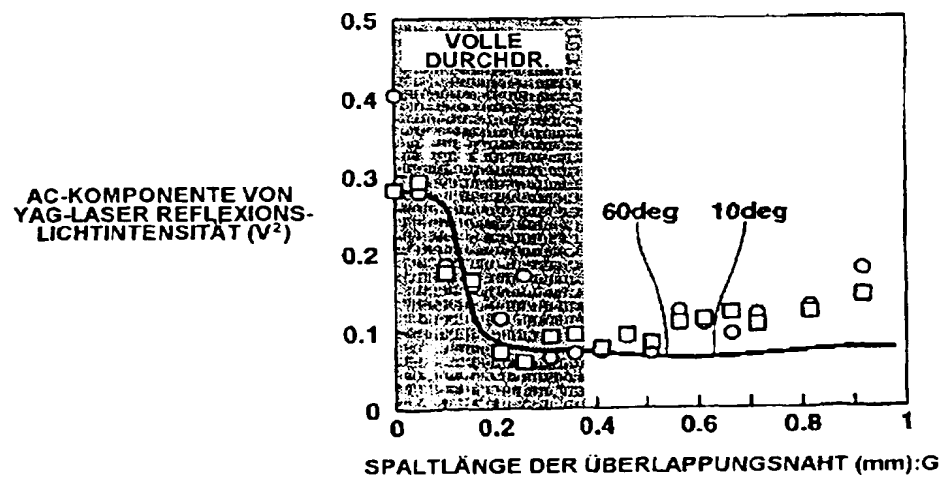
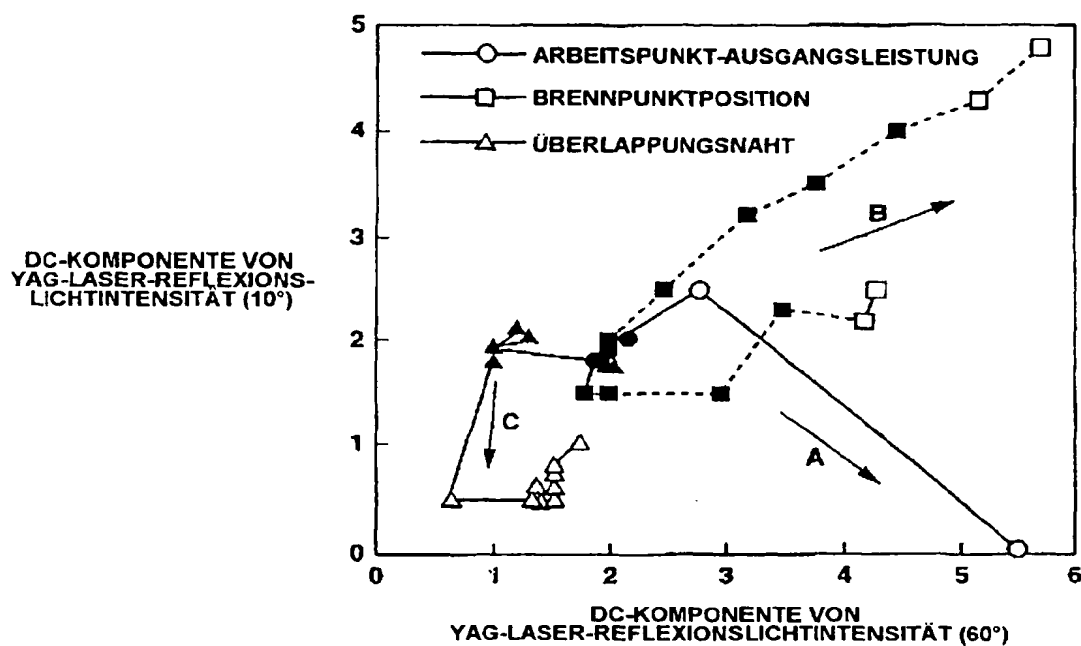
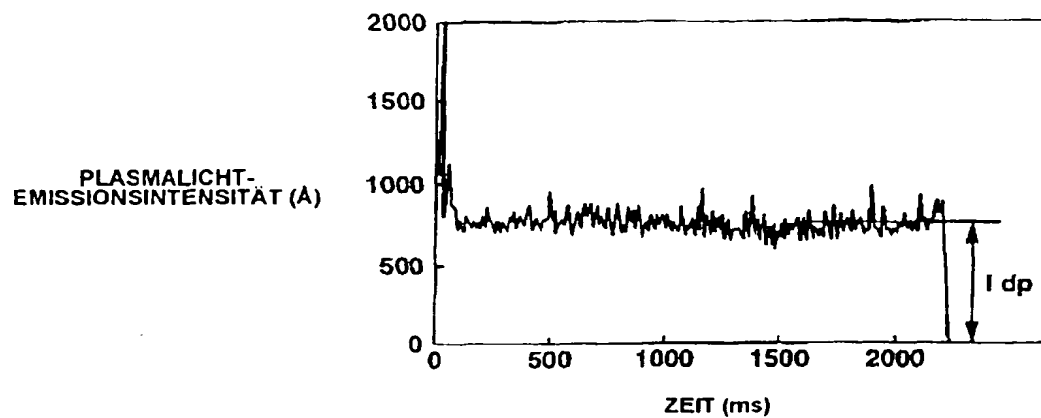


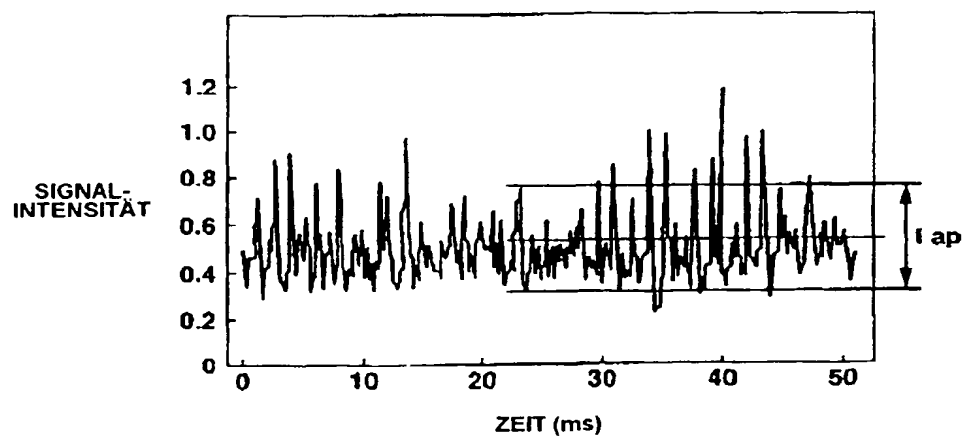
FIG.6



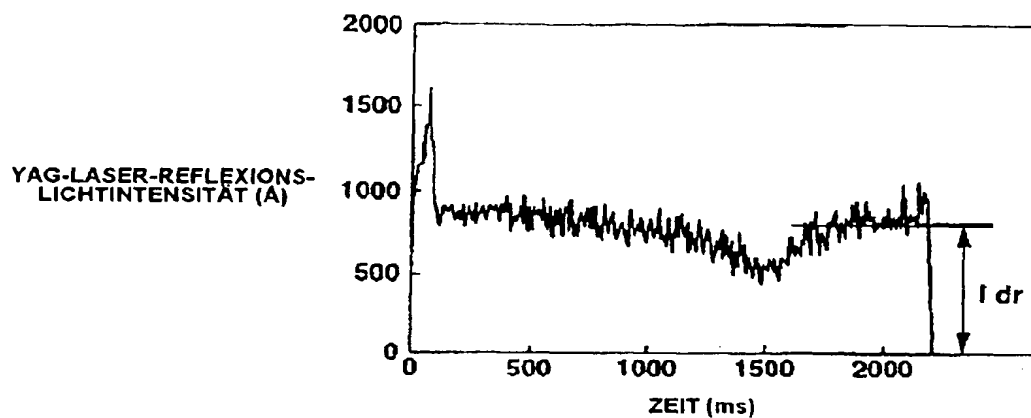
**FIG.7A**



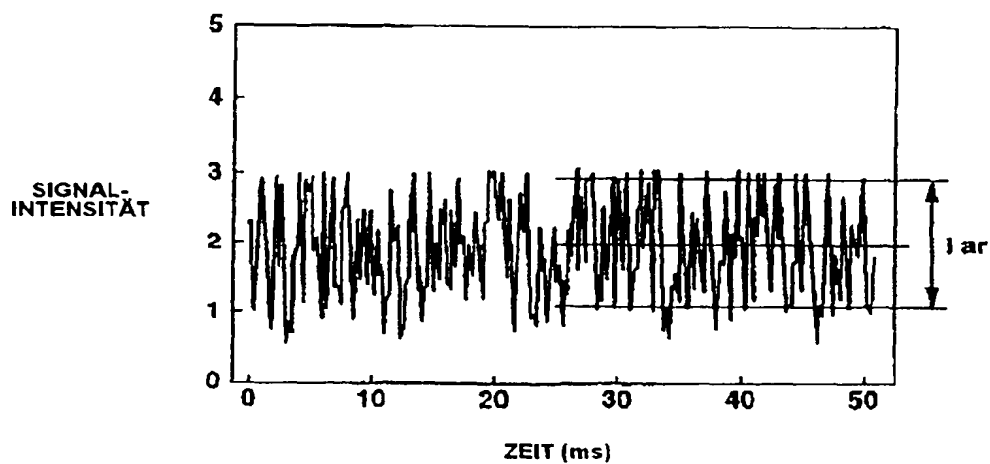
**FIG.7B**



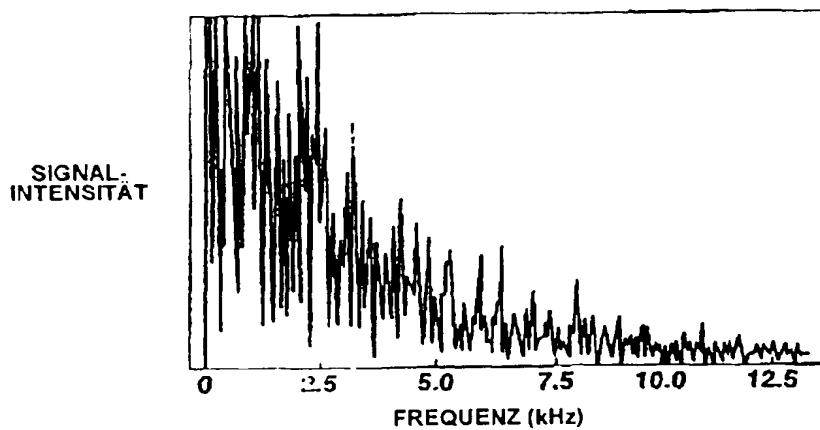
**FIG.8A**



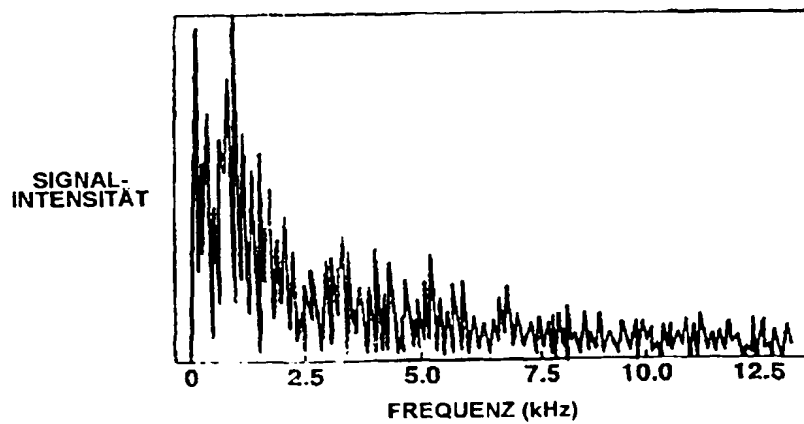
**FIG.8B**



**FIG.9A**



**FIG.9B**



**FIG.10**

